XI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERIA DE PROYECTOS

LUGO, 26-28 Septiembre, 2007

ECODISEÑO CONCEPTUAL DE UNA IMPRESORA DE INYECCIÓN DE TINTA A PARTIR DEL ANÁLISIS DEL DESMONTAJE DE MODELOS EXISTENTES EN EL MERCADO

J. Rubio Pinés, D. Collado Ruiz(p), R. Viñoles Cebolla, B. Pacheco Blanco, S. Capuz Rizo

Abstract

The environmental problems facing society today have provoked a change in numerous parameters of social, technical and economic development. The development of industrial products is no exception: with the aim to achieve a more sustainable development, environmentally friendly product design should cease to be a complement to systematic product design methodologies. The environmental factor should be at the same level as others as crucial as the cost.

The aim of this study is to propose design improvements, from an environmental point of view, in two models of ink-jet printers. For this purpose a general description of the product concerned will be provided, including a functional analysis. Afterwards a detailed study will be carried out on the end of life of each of the printers, with special emphasis on the disassembly process. This analysis will facilitate revalorisation (in parts as well as in materials) made necessary by Directive 2002/96/CE on waste electrical and electronic equipment (WEEE). In the process of disassembly the spine diagram method will be used, with a view to reducing disassembly time and of achieving the objectives stated in the Directive, with a minimum of 65% of recycling and revaluation.

All of the aforesaid will be the staring point for an eco-design proposal. This study aims to be a model to follow in analogous cases as far as procedure is concerned, and from the most global perspective it is aspired to be applicable to electronic office equipment products in general.

Keywords: Design for Disassembly, Waste Electric and Electronic Equipment (WEEE), Ecodesign, End of life.

Resumen

Los problemas ambientales que afronta la sociedad actual han provocado un cambio en numerosos parámetros del desarrollo social, técnico y económico. El diseño de productos industriales no escapa a estas circunstancias: a fin de lograr un desarrollo más sostenible, el diseño respetuoso con el medio ambiente debe dejar de ser un complemento a las metodologías de diseño sistémico de productos. El factor medioambiental debe equipararse a otros también cruciales tales como el coste económico.

El objetivo del presente estudio es proponer mejoras en el diseño desde el punto de vista ambiental en dos modelos de impresoras de inyección de tinta. Para ello se partirá de una descripción general del producto en cuestión, incluyendo un análisis funcional del mismo. Posteriormente se llevará a cabo un estudio detallado de la etapa de fin de vida de cada una de las impresoras, analizando con especial énfasis el proceso de desmontaje. Este análisis facilitará la revalorización (tanto de partes como de materiales del producto) impuesta por la Directiva 2002/96/CE sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE). En el

proceso de desmontaje se empleará la técnica de los diagramas de espinas, a fin de reducir el tiempo de desmontaje y conseguir los objetivos fijados por la citada Directiva, con un mínimo del 65% de reciclado y revalorización.

Todo ello sirve como punto de partida para una propuesta de ecodiseño. Dicho estudio pretende ser un modelo en cuanto al procedimiento a seguir en casos análogos, y desde una perspectiva más global aspira a ser aplicable a los productos ofimáticos en general.

Palabras clave: Diseño para el Desmontaje, Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos, Ecodiseño, Fin de Vida

1. Introducción

Los aparatos eléctricos y electrónicos se han introducido en todos los aspectos de nuestra vida diaria, proporcionando a la sociedad mayor comodidad, salud y seguridad, y facilitando la adquisición e intercambio de información. No obstante, las constantes innovaciones tecnológicas, unidas al aumento del consumo de este tipo de productos, aceleran su obsolescencia, acortando sus plazos de sustitución y renovación.

En consecuencia, la generación de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos aumenta progresivamente, a la vez que dichos residuos no reciben un tratamiento adecuado para recuperar los materiales y componentes valorizables así como reducir su impacto ambiental, ya que en Europa, actualmente, más del 90% de los RAEE se envían a vertedero o incineran, sin ningún tratamiento previo.

Con la finalidad de dar respuesta a dicho problema, en el seno del Parlamento Europeo fueron aprobadas dos Directivas que atañen directamente a la gestión de aparatos eléctricos y electrónicos, y en especial al final de su ciclo de vida: la Directiva 2002/96/CE sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (Parlamento Europeo, 2003a) y la Directiva 2002/95/CE sobre las restricciones en la utilización de determinadas sustancias peligrosas (Parlamento Europeo, 2003b).

La aplicación de las mismas va a conducir a una situación en la cual los fabricantes de equipos eléctricos y electrónicos en general, y los de productos ofimáticos en particular, deberán diseñar sus productos de acuerdo con una serie de criterios que permitan optimizar su desmontaje y valorización al final de su vida útil.

En esta ponencia se presenta, en primer lugar, un análisis del contexto legal referido a las impresoras en cuanto a aspectos ambientales. A continuación se muestra un caso de estudio consistente en el desmontaje de dos impresoras de inyección de tinta, una de ellas de la marca Hewlet-Packard, modelo Deskjet 690C y la otra de la marca Epson, modelo Stylus Color 500. Los resultados derivados de este estudio pueden servir de ayuda tanto para la optimización del desmontaje como para la mejora en el diseño de posteriores modelos de este tipo de productos.

2. Marco legislativo

2.1 Directiva 2002/96/CE sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos

La Directiva 2002/96/CE sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) (Parlamento Europeo, 2003a) aprobada por el Parlamento Europeo el 27 de enero del 2003, y su transposición al ordenamiento jurídico español mediante el RD 208/2005 de 25 de febrero, (Ministerio de Medio Ambiente y Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2005) define en el Artículo 1 sus objetivos como “prevenir la generación de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) y, además la reutilización, el reciclado y otras formas de valorización de dichos residuos, a fin de reducir su eliminación.

Asimismo, se pretende mejorar el comportamiento medioambiental de todos los actores que intervienen en el ciclo de vida de los aparatos eléctricos y electrónicos, por ejemplo los productores, distribuidores y consumidores y, en particular, de aquellos agentes directamente implicados en el tratamiento de los residuos derivados de esos aparatos".

Un punto importante que plantea dicha ley es la distribución de las responsabilidades, así como la puesta en funcionamiento de una compleja infraestructura orientada a la revalorización de los residuos. La norma fija como fecha tope el pasado 13 de Agosto de 2005 para que se encuentren en funcionamiento los sistemas que permitan la devolución por parte de los poseedores finales de sus productos desechados, así como de las instalaciones de procesado de éstos. La responsabilidad económica y legal del retorno recaerá sobre los distribuidores.

El tratamiento de dichos residuos será responsabilidad de los productores o de terceros contratados por estos. De esta manera, el Estado miembro garantizará tanto que este gestor existe como que cumple con las condiciones adecuadas de tratamiento. Una vez al año, se realizará una inspección en la que se dará información sobre los tipos y cantidades de residuos tratados, los requisitos técnicos y las precauciones de seguridad que se emplearán.

El sistema será financiado por los productores, que serán responsables del pago de la fracción que emitan al mercado, repartiéndose proporcionalmente el impacto de los residuos históricos según la cuota de mercado de cada productor.

Una de las consecuencias de esta Directiva es la aplicación de los conceptos de cautela, acción preventiva y corrección de daños en las empresas fabricantes. En el caso de las impresoras[1], esta directiva obliga a una valorización de un mínimo del 75% en peso, y una reutilización o reciclado mínimos del 65% del total, así como a la incorporación de un icono específico que indique que son AEE (Aparatos Eléctricos y Electrónicos). Todos los requisitos anteriormente mencionados obligarán a los fabricantes a plantearse nuevos retos en cuanto el diseño orientado al desmontaje y el reciclaje (DfDR).

2.2. Directiva 2002/96/CE sobre la restricción del uso de determinadas Sustancias Peligrosas

También es de interés la aprobación de la *Directiva sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos* (RuSP) (Parlamento Europeo, 2003b), la cual plantea que todas las piezas, exceptuando aquellas destinadas a su reparación o reutilización, deberán estar libres de cualquiera de las siguientes sustancias:

- Plomo
- Mercurio
- Cadmio
- Cromo Hexavalente
- Polibromobifenilos (PBB)
- Polibromodifeniléteres (PBDE)

2.3. Norma UNE 71903 EX Impresoras. Criterios ecológicos

Por otro lado, se encuentra normativa de interés al respecto de las impresoras como es el caso de la norma experimental *UNE 71903 EX Impresoras. Criterios ecológicos* (AENOR,

---

[1] Producto incluido en el *Anexo I B* dentro de la categoría *Unidades de Impresión*, dentro del grupo *Equipos de Informática y Telecomunicaciones* (de tipo más general) del *Anexo I A*.

1999). Esta norma define unos criterios o variables medioambientales generales para el diseño de este tipo de productos:

- Duración del equipo, incluyendo que los consumibles, fungibles y piezas de recambio estén disponibles para los consumidores.
- Diseño reciclable, evitando conexiones no separables, reduciendo del número de materiales, etc.
- Reducción del número familias de plásticos y requisitos de los mismos.
- Marcaje de plásticos según la Norma ISO 11469 (AENOR, 2000).
- Aceptación de los equipos usados después de su uso para ser reutilizados o para reciclar el material. El manual de usuario deberá contener información referida a ello.
- Consumo de energía mínimo mediante un sistema especial de ahorro de energía que se activará automáticamente.
- Consumibles y fungibles: Diseño reciclable de los mismos, aceptación de fungibles devueltos e información en el manual de usuario sobre la duración del fungible.
- Sustancias utilizadas en tóneres y tintas no peligrosas.
- Emisiones contaminantes de impresoras electrofotográficas: Niveles de emisión de polvo, ozono y estireno.

3. Caso de Estudio

Para un conocimiento tanto del producto estudiado como del mismo proceso de desmontaje, se decidió abordar el desensamblado dos impresoras de inyección de tinta: una de Hewlet-Packard, modelo Deskjet 690C y la otra de la marca Epson, modelo Stylus Color 500.

Para llevar a cabo el desmontaje de las mismas se debieron ensayar todas las posibilidades, con lo que fue necesario un **planteamiento** inicial del problema. Por tanto fue necesario obtener diversa información sobre cada pieza:

- *Número*: Se dispone de una ordenación lógica de las piezas según su orden de desmontaje, para posteriormente poder hacer referencia a éstas.
- *Nombre*: La pieza ha de ser nombrada para que se pueda conocer su función o forma.
- *Tiempo de desmontaje*: A la hora de realizar gráficas de desmontaje, es de gran importancia el tiempo que se ha de invertir en la recuperación de cada una de las piezas.
- *Materiales*: Se ha de anotar tanto el material del que está fabricada la pieza como si dicho material se encuentra indicado mediante algún tipo de marcado.
- *Peso*: La mayoría de materiales se valorizan de manera relativa a esta magnitud.
- *Uniones*: Se deberá registrar la forma en la que la pieza está unida a sus sujeciones: tornillos, anclajes, soldadura, etc.
- *Observaciones.*

Posteriormente, se planteó un **estudio de materiales**, analizando y cuantificando las cantidades y porcentajes de cada uno de éstos a fin de poder estimar la influencia sobre el impacto ambiental que suponen, como se presenta en la figura 1.

Se puede observar que en ambos modelos, el acero representa un alto porcentaje de su composición (35% en la HP Deskjet 690C y 26% en la Epson Stylus Color 500). También existe para cada una de las impresoras una clase de plástico predominante, el estireno-butadieno (S/B, 23%) en el primer modelo y el poliestireno (PS, 35%) en el segundo.

En ambos casos, si a las proporciones anteriores les sumamos los subconjuntos correspondientes a motores, fuente de alimentación, etc. –representados con las siglas E/E- se obtiene un 71% del peso total en la Hewlett-Packard y un 76% en la Epson.

Este hecho representa el cumplimiento y la aplicabilidad de la citada Directiva por parte de las impresoras objeto de estudio, ya que en los dos casos se supera el umbral mínimo del 65%.

Cabe destacar que para recuperar el material E/E y el acero se puede emplear el proceso de separación magnética, pero este hecho induce cierta dificultad técnica que se traduce en costes más elevados que para el proceso de ambos materiales por separado.

Por otro lado los plásticos mayoritarios en cada uno de los modelos (S/B y PS) deben ser procesados independientemente eliminando impurezas de otros materiales plásticos, a no ser que se opte por una incineración. Sin embargo, de adoptarse esta estrategia, no se llegaría a los mínimos impuestos por la Directiva, con lo que se desestima tal hipótesis. Afortunadamente estos materiales se localizan en piezas de elevado volumen con lo que su separación no presenta dificultad. Este hecho plantea la necesidad de un desmontaje manual.

Tanto el primer factor, como el segundo justifican desde un punto de vista técnico y económico la necesidad de incluir un proceso de desmontaje previo al procesado de los materiales. Debido a esto se analiza en el presente artículo intrínsecamente el proceso de desmontaje con el objetivo de facilitar esta tarea desde el diseño.

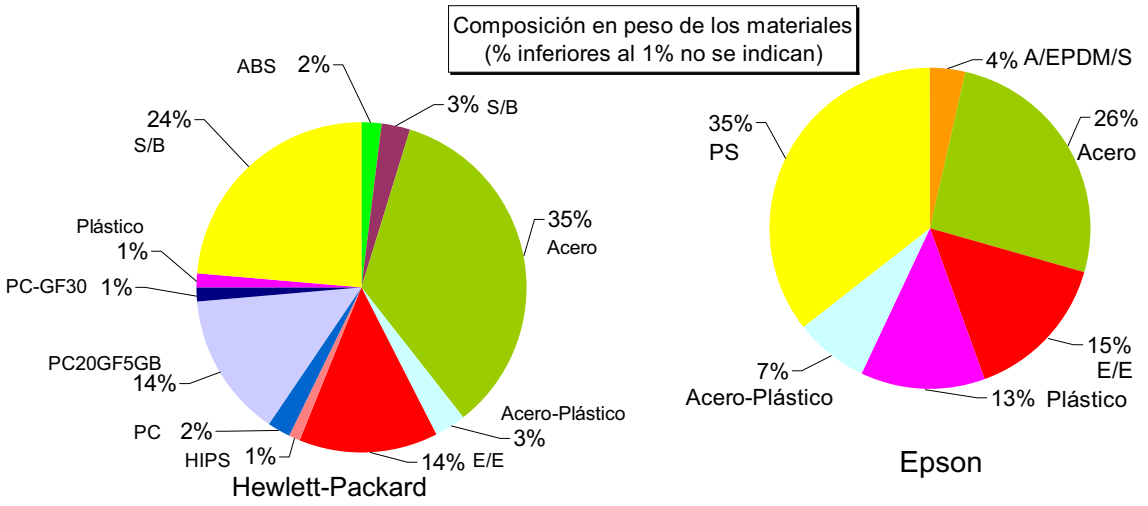

Figura 1.- Proporción de materiales en las impresoras Epson y Hewlett-Packard

A continuación, y con la información obtenida hasta el momento, se aborda el **estudio del proceso de desensamblado** de ambos modelos. Se plantea el análisis de los datos mediante una gráfica del tipo peso-tiempo (Campbell y Hassan, 2003, Gries y Blessing, 2003, Mario et al., 2003).

En la gráfica se ha representado los valores del peso desmontado, con su avance a lo largo del tiempo. Dado que el orden seguido en este primer experimento consistió en el desmontaje de cada pieza hasta que fuese imposible continuar, se consiguió una ordenación sistemática muy alejada de la considerada óptima. Es por ello por lo que se aplicó el método de los diagramas de espinas (Collado, 2004) para llegar a una secuencia de desmontaje que fuese significativa, es decir, que maximizase la convexidad.

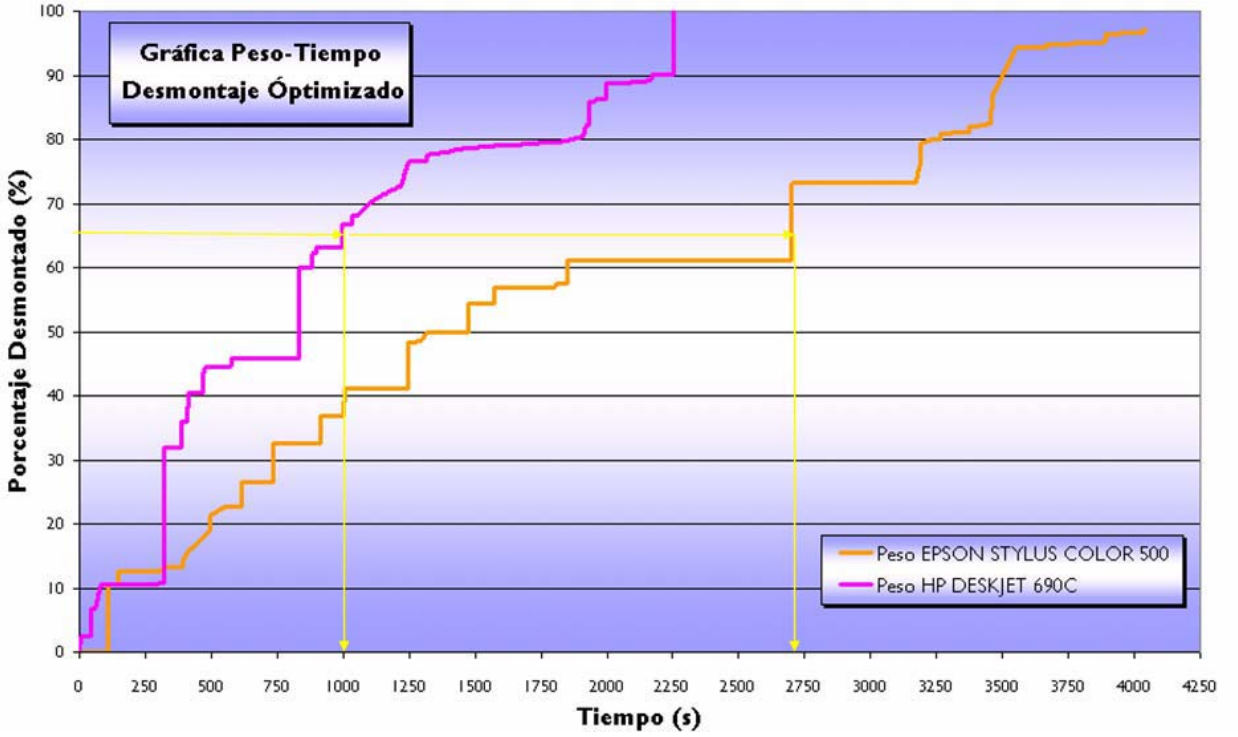

Figura 2.- Gráficas Peso-Tiempo del desmontaje optimizado para ambas impresoras.

En este punto, se han de seleccionar las piezas que supongan una mejora ambiental respecto al tiempo y la energía que han de consumirse en su desmontaje (Capuz y Gómez, 2002, VDI, 1993, Ishii, 1996, IHOBE, 2000). Para conseguirlo se proponen varios métodos o criterios de selección de las piezas a considerar. En general, las piezas prioritarias en el reciclado son:

- Las más pesadas
- Las más valiosas
- Las más peligrosas

4. Resultados y propuestas de mejora.

Atendiendo uno a uno a los criterios anteriormente expuestos, las piezas susceptibles de ser rediseñadas serán:

- Motores
- Ejes de acero
- Carcasas exteriores
- Bases metálicas.

A continuación se presenta la problemática asociada a dichos elementos y posibles propuestas de mejora.

4.1. Motores laterales de cartuchos y de avance de papel.

- Extracción complicada por la situación de la misma dentro del producto.
- Excesiva especificidad de la misma, solo válida para aplicaciones similares.

Figura 3.- Motores de avance de papel y lateral.

Propuestas de mejora:

- Unificar los distintos motores eléctricos que posee la impresora, intentando dejar sólo uno. Ello es posible mediante sistemas de transmisión de fuerzas, tales como poleas, ejes y ruedas dentadas.
- Rediseñar un nuevo sistema de extracción para los motores, de forma que facilite este proceso. Este sistema de extracción permite desmontar la corona dentada del rotor de giro de manera más rápida que la actual. Ello implica una notable reducción del tiempo empleado para el desmontaje de dicha pieza.

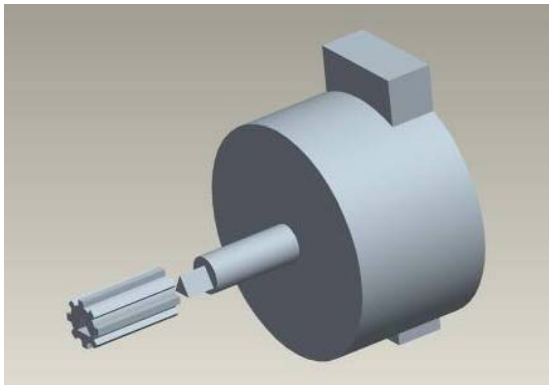

Figura 4.- Posible propuesta de rediseño para dichos motores.

4.2. Ejes de acero.

- Extracción complicada por el tipo de unión empleado para ello.
- Requisitos estrictos en cuanto a dimensiones a materiales para cumplir sus especificaciones de diseño.

Figura 5.- Fotografía de un eje de acero.

Propuestas de mejora.

- Emplear fibra de carbono, magnesio o titanio para la construcción de dicha pieza. De esta forma, se consigue una notable reducción de peso, manteniendo unas características mecánica iguales o mejores a las del propio acero.
- Sustituir uno de los dos ejes por una superficie sólida situada justo debajo del folio que se está imprimiendo.

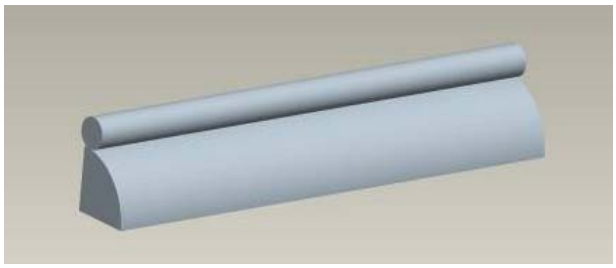

Figura 6.- Vista de la primera propuesta de rediseño para los ejes de acero.

- Modificación de la solución anterior haciendo que dicha superficie posea una serie de huecos que además de aligerar la pieza, proporcionan un mayor número de puntos de apoyo, hecho que afecta de manera notable en la reducción de la flecha del eje.

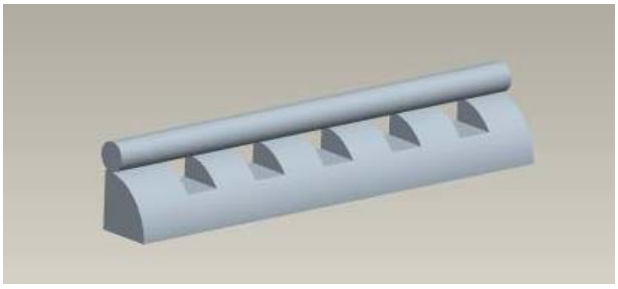

Figura 7.- Vista de la segunda propuesta de rediseño para los ejes de acero.

- Dotar a uno de los extremos, o a los dos, del eje, de un sistema de rosca a fin de facilitar la extracción de la pieza.

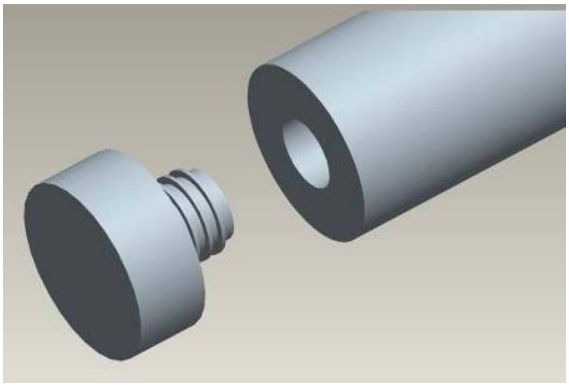

Figura 8.- Vista ampliada de la tercera propuesta de rediseño para los ejes de acero.

- Crear en las piezas soporte donde se apoya el eje un concentrador de tensiones, para que mediante un golpeo seco de las mismas, estas se rompan y el eje pueda desmontarse de forma sencilla y rápida.

4.3. Carcasas exteriores.

- Extracción complicada por la existencia de tres fuertes relaciones de precedencia con otras piezas.

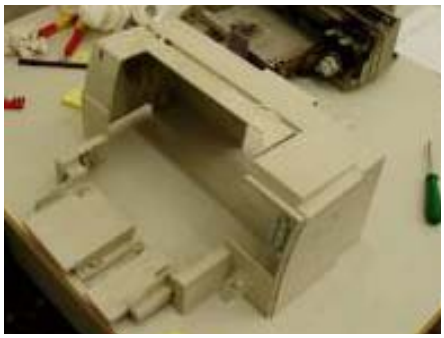

Figura 9.- Fotografía de la carcasa exterior de la HP Deskjet 690C.

Propuestas de mejora.

- Que todas las piezas que integran este conjunto sean del mismo material.
- Integrar la pieza 3 (Base), con los conjuntos 2 (Tapa) y 1 (Bandeja salida) en una única pieza.

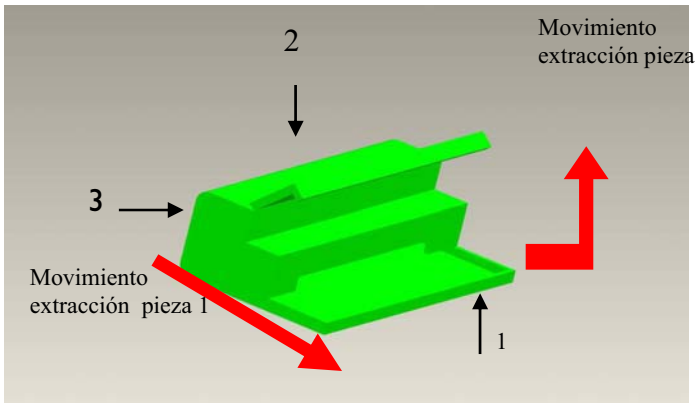

Figura 10.- Vista de la propuesta de rediseño para las carcasas exteriores.

4.4. Bases metálicas.

- Extracción complicada por su deficiente accesibilidad así como la gran diversidad y número de tipos de unión existentes.
- Peso excesivo para desempeñar su función.

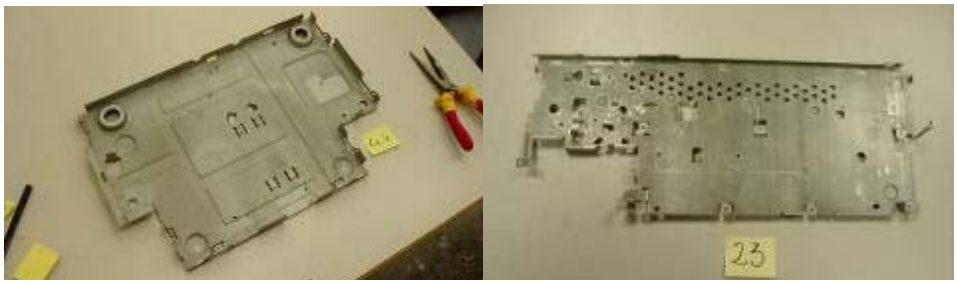

Figura 11.- Fotografía de las bases metálicas de ambas impresoras.

Propuestas de mejora.

- Añadir ventosas exteriores que fijen la impresora a la superficie donde reposa ésta. De esta manera cabe la posibilidad de prescindir de dicha pieza.
- Diseñar una pieza de plástico con agujeros, que contenga en su interior la chapa de metal. A su vez, que dicho conjunto se desmonte de forma rápida y sencilla.

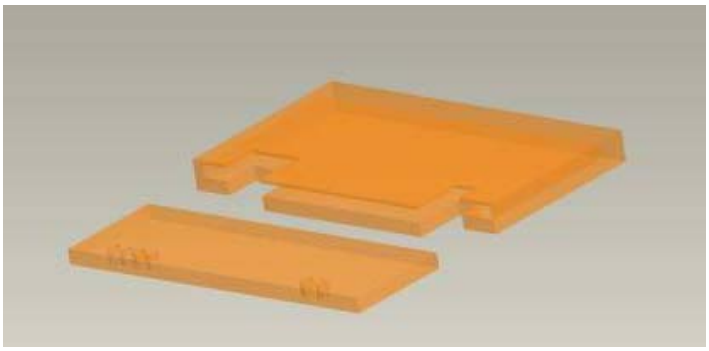

Figura 12.- Vista de la propuesta de rediseño para las bases metálicas.

5. Conclusiones y líneas futuras.

Del análisis expuesto se puede concluir que las impresoras analizadas no sólo permiten un rediseño, sino que éste es recomendable a fin de reducir el impacto de fin de vida del producto y los costes de desmontaje.

Si bien el cumplimiento de la Directiva 2002/96/CE ya era teóricamente alcanzable, su aplicación práctica distaba mucho de ser económicamente viable. Sin embargo, con las directrices de ecorediseño propuestas, el proceso de valorización al final de la vida útil de las mismas no sólo mejora desde el punto de vista ambiental, si no también desde un punto de vista económico.

Por ello, las líneas de investigación a partir de este punto deberían ser:

- Estudio de las implicaciones en la fabricación de las medidas propuestas, y de su viabilidad para la puesta en práctica en una línea de fabricación y/o de desmontaje.
- Verificación de la reducción real de tiempo que supone el concepto de producto propuesto. Evaluación y cuantificación del beneficio desde el punto de vista ambiental.
- Estudio de los costes de fin de vida del producto analizado. De esta manera, se podrían comparar los costes de desmontaje antes y después de las propuestas.
- Generalización de las conclusiones, con la consecuente comprobación de si serían aplicables estos criterios al conjunto de impresoras.
- Aplicación a otros productos ofimáticos.
- Aplicación a otros aparatos eléctricos y electrónicos.

Todo ello contribuiría a la generación de un código de buenas prácticas, con carácter cuantitativo, así como una guía de rediseño, que serían aplicable a los aparatos eléctricos y electrónicos en general.

Referencias

Parlamento Europeo (2003), “Directiva 2002/96/CE sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos”. Bruselas.

Parlamento Europeo (2003), “Directiva 2002/95/CE sobre la Restricción del uso de determinadas Sustancias Peligrosas”. Bruselas.

Ministerio de Medio Ambiente y Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2005), “Real Decreto 208/2005 de 25 de febrero, sobre aparatos eléctricos y electrónicos y la gestión de sus residuos”. Madrid.

AENOR (1999), “UNE 71903 EX Impresoras. Criterios ecológicos”.

AENOR (2000), Norma ISO 11469. Plásticos. Identificación Genérica y Marcado de Productos Plásticos.

Campbell, M.I. y Hassan, A. (2003), “Design Evaluation Method for the Disassembly of Electronic Equipment”. *14th International Conference on Engineering Design*. Estocolmo.

Gries, B. y Blessing, L. (2003); “Towards a Disassembly Process-Oriented Design of Sustainable Products”. *14th International Conference on Engineering Design*. Estocolmo.

Mario, F.; et al.; “Design for Assembly and Design for Disassembly: Two Ways for the Development of Sustainable Products”. *14th International Conference on Engineering Design*. Estocolmo

Collado, D., 2004, “Ecodiseño para la reducción del impacto ambiental de fin de vida de una impresora de chorro de tinta”. Proyecto Final de Carrera en la UPV.

Capuz, S.; Gómez, T. (Eds); “Ecodiseño. Ingeniería del Ciclo de Vida para el Desarrollo de Productos Sostenibles”. Valencia (España): Editorial Universidad Politécnica de Valencia, 2002. ISBN: 84-9705-191-2.

VDI - Verein Deutscher Ingenieure (1993) “VDI 2243 - Konstruieren Recyclinggerechter Technischer Produkte” (Diseño de Productos Técnicos para simplificar su Reciclaje). Berlín.

Ishii, K. (1996), “Material Selection Issues in Design for Recyclability”, *The Second EcoBalance Conference*. Tsukuba.

IHOBE S.A. (2000), “Manual Práctico de Ecodiseño. Operativa de Implantación en 7 pasos”. Bilbao.

Correspondencia (Para más información contacte con):

Daniel Collado Ruíz. Universidad de Politécnica de Valencia. Departamento de Proyectos de Ingeniería. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Camino de Vera s/n, 46022, Valencia, Spain.
Phone: +34 96 387 70 00 ext 85650/75659 Fax: +34 96 387 98 69
E-mail : dacolrui@dpi.upv.es
URL: http://www.dpi.upv.es/id&ea